



B/ 2114
erw

Docket No.: GR 99 P 3499

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date indicated below.

By:  Date: February 24, 2005

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applic. No.	: 10/058,525	Confirmation No: 5406
Applicant	: Gottfried Adam	
Filed	: January 28, 2002	
Art Unit	: 2114	
Examiner	: Aaron D. Matthew	
Title	: Method and System for Diagnosing a Technical Installation	
Docket No.	: GR 99 P 3499	
Customer No.	: 24131	

CLAIM FOR PRIORITY

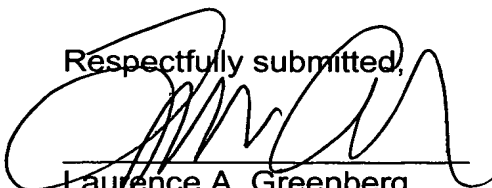
Commissioner for Patents,
P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the European Patent Application 991 14 790.1, filed July 28, 1999.

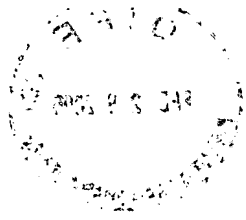
A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,


Laurence A. Greenberg
Reg. No. 29,308

Date: February 25, 2005
Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/av



THIS PAGE BLANK (USPTO)



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

99114790.1

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 10/04/01
LA HAYE, LE

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.: 99114790.1
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: 28/07/99 ✓
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 München
GERMANY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
Diagnoseverfahren und Diagnosesystem für eine technische Anlage

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:
G05B23/02

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Beschreibung

Diagnoseverfahren und Diagnosesystem für eine technische Anlage

5

Die Erfindung betrifft ein Diagnoseverfahren für eine technische Anlage zur Ermittlung der Ursache eines Störereignisses. Die Erfindung betrifft auch ein entsprechendes Diagnosesystem für eine technische Anlage.

10

15

20

25

30

35

In dem Artikel "Online-Turbinendiagnose spart Brennstoff und senkt Instandhaltungskosten" von W. Zörner, Siemens Power Journal, Heft 1 1993, Seiten 14-17, ist ein Diagnosesystem für eine Turbinenanlage beschrieben. Das Diagnosesystem ist modular aufgebaut. Der Aufbau orientiert sich an den Funktionsgruppen von Turbinenanlagen. Durch eine umfangreiche Datenerfassung und Aufbereitung wird eine hohe Informationsdichte erzielt. Es werden nicht nur einzelne Meßwerte angezeigt und Abweichungen von einem Sollzustand erkannt, sondern Online-Diagnosen über den Anlagenzustand durchgeführt. Sich anbahnende Veränderungen werden durch eine ständige Überwachung der Meßwerte relevanter Komponenten und Betriebszustände der Maschinen frühzeitig erkannt. Die Diagnose wird ereignisorientiert eingeleitet, d. h. automatisch dann, wenn Meßwerte ihren zulässigen Streubereich - weit vor einer Gefahrenmeldung - überschreiten. Sie kann darüber hinaus zeitabhängig oder für eine manuelle Auswertung eines Problemfeldes angeregt werden. Ein Expertensystem der zentralen Diagnose meldet im Online-Betrieb automatisch jede Unregelmäßigkeit. Die Module sind dabei, entsprechend ihrer jeweiligen Funktion, mehr oder weniger algorithmisch oder auch je nach Komplexität wissensbasiert orientiert. Ein Charakteristikum des Systems ist die Verarbeitung von unsicherem Wissen. Hier kommen verschiedene Formalismen zum Einsatz, die von mathematisch orientierten probabilistischen Modellen bis zur Fuzzylogic reichen. Den Diagnosen werden Bewertungen zugeordnet (Konfidenzfaktoren), die eine Aussage über den Grad des Ver-

BEST AVAILABLE COPY

2

trauens in die gezogene Schlußfolgerung machen. Für die Bewertung werden alle Diagnosen nach fallenden Konfidenzfaktoren sortiert und ausgegeben. Ebenso wird eine Liste der Diagnosen erstellt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können.

Eine Beschreibung des gleichen Diagnosesystems gibt der Artikel "Einsatz eines Diagnosesystems zur Optimierung des Betriebs von Turbinenanlagen" von W. Zörner, VDI-Berichte 1092, VDI-Verlag Düsseldorf 1993. Dort wird am Beispiel eines Kondensators einer Dampfturbinenanlage beschrieben, wie aus Meßwerten von Meßgrößen wie Kondensatordruck, Generatorleistung oder Luftleckagemassenstrom über logische Verknüpfungen ein Diagnoseergebnis gewonnen wird.

Bei komplexen Zusammenhängen werden auf logischen Verknüpfungen beruhende Diagnosen unübersichtlich und sind dann auf ihre logische Widerspruchsfreiheit hin nicht mehr verifizierbar. Auch die Pflege so verknüpfter Regelwerke bei Anlagenänderungen ist sehr aufwendig. Auch andere Diagnosewerkzeuge wie neuronale Netze oder Fuzzy-Logic sind sehr aufwendig und führen nicht immer zu eindeutigen Aussagen.

Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Diagnoseverfahrens für eine technische Anlage zur Ermittlung der Ursache eines Störereignisses, bei dem auch bei einem sehr komplexen Aufbau der technischen Anlage eine ausreichend schnelle und sichere Aussage über die Ursache getroffen werden kann. Weitere Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines entsprechenden Diagnosesystems.

Erfindungsgemäß wird die auf ein Diagnoseverfahren gerichtete Aufgabe gelöst durch ein Diagnoseverfahren für eine technische Anlage zur Ermittlung der Ursache eines durch eine Störzustandsgröße beschriebenen Störereignisses, bei dem ein über Zustandsgrößen definierter Betriebszustand der Anlage durch

3

eine Bestimmung von jeweils eine Zustandsgröße charakterisierender Diagnoseparameter ermittelt wird;

5 ein aus Hierarchieebenen, numeriert mit H_n , aufgebauten Abhängigkeitsbaum erstellt wird, der zumindest einen Teil der Diagnoseparameter enthält, wobei

10 eine erste Hierarchieebene einen die Stör-Zustandsgröße charakterisierenden Stör-Diagnoseparameter enthält,

eine auf die erste Hierarchieebene folgende zweite Hierarchieebene Diagnoseparameter enthält, die Zustandsgrößen definieren, die unmittelbar auf die Stör-Zustandsgröße einwirken,

15 eine auf die Hierarchieebene H_n folgende Hierarchieebene H_{n+1} Diagnoseparameter enthält, die Zustandsgrößen definieren, die unmittelbar auf die Zustandsgrößen einwirken, die durch die Diagnoseparameter der Hierarchieebene H_n charakterisiert werden;

20 ausgehend vom Stör-Diagnoseparameter ein Fehlerweg im Abhängigkeitsbaum dadurch ermittelt wird, daß entsprechend der Größe oder einer Veränderungsrichtung eines Diagnoseparameters eine Hierarchieebene H_n ein verantwortlicher Diagnoseparameter einer Hierarchieebene H_{n+1} identifiziert wird;

25 aus einem so identifizierten verantwortlichen Diagnoseparameter einer letzten Hierarchieebene auf die Ursache des Störereignisses geschlossen wird.

30 In diesen Diagnoseverfahren wird also die Ursache des Störereignisses über einen Hierarchieebenen aufweisenden Abhängigkeitsbaum ermittelt. Jede Hierarchieebene enthält Diagnoseparameter, die gemessene oder berechnete Zustandsgrößen der technischen Anlage charakterisieren. Dabei ist einer Hierarchieebene eine andere Hierarchieebene vorgeschaltet, die Diagnoseparameter enthält, auf die die Zustandsgrößen der nach-

35

geschalteten Hierarchieebene (beschrieben durch deren jeweilige Diagnoseparameter) einwirken. Dabei können parallele Hierarchieebenen auftreten, d. h. einem Diagnoseparameter einer Hierarchieebene H_n ist eine Hierarchieebene H_{n+1} nachgeschaltet mit Diagnoseparametern von Zustandsgrößen die unmittelbar auf diesen Diagnoseparameter (bzw. dessen Zustandsgröße) einwirken. Einem anderen Diagnoseparameter der Hierarchieebene H_n kann eine andere, zur ersten Hierarchieebene H_{n+1} parallele Hierarchieebene H_{n+1} zugeordnet sein, die einen anderen Satz von auf die Zustandsgröße des Diagnoseparameters der Hierarchieebene H_n einwirkende Zustandsgrößen (bzw. deren Diagnoseparameter) enthält. Mit einer solchen baumartigen Struktur werden also die technischen Abhängigkeiten in der technischen Anlage übersichtlich und eindeutig zum Ausdruck gebracht. In einem weiteren Schritt wird die Größe oder Veränderungsrichtung des in der ersten Hierarchieebene enthaltenen Stör-Diagnoseparameters betrachtet und daraus jener Diagnoseparameter oder jene Diagnoseparameter der zweiten Hierarchieebene als verantwortliche Diagnoseparameter für die Größe oder Veränderungsrichtung des Stör-Diagnoseparameters identifiziert. Iterativ werden nachfolgend die verantwortlichen Diagnoseparameter der weiteren Hierarchieebenen sukzessive identifiziert. Durch Identifizierung der verantwortlichen Diagnoseparameter einer letzten Hierarchieebene ist mit hinreichender Sicherheit auf die Ursache des Störereignisses schließbar. Diese Vorgehensweise für die Diagnose ist ausreichend schnell durchführbar, so daß Folgeschäden des Störereignisses durch eine entsprechende Reaktion auf die Ursache vermieden werden können. Weiterhin ist das Diagnoseverfahren so übersichtlich und flexibel, daß auch Änderungen an der technischen Anlage in einfacher Weise in das Diagnoseverfahren einbezogen werden können.

Vorzugsweise wird jedem Diagnoseparameter eine Hierarchieebene H_{n+1} für jeden Diagnoseparameter einer vorgeschalteten Hierarchieebene H_n eine steigende, fallende oder konstant bleibende Änderungsrichtung abhängig von einer vorgegebenen

Änderungsrichtung des jeweiligen Diagnoseparameters der Hierarchieebene H_n zugewiesen, wobei der Fehlerweg anhand einer Übereinstimmung gemessener Änderungsrichtungen der Diagnoseparameter mit den zugewiesenen Änderungsrichtungen ermittelt wird. Jeder Diagnoseparameter kann also drei Änderungseigenschaften annehmen: fallend, steigend oder konstant bleibend. Wird für einen Diagnoseparameter eine dieser Änderungseigenschaften vorgegeben, so bestimmen sich die dann angenommenen Änderungseigenschaften der nachfolgenden Hierarchieebene H_{n+1} gemäß einer bekannten technischen Abhängigkeit (gewonnen z.B. durch ein Expertensystem). Jeder Diagnoseparameter weist also über seine Änderungseigenschaft eine definierte Verknüpfung mit den Diagnoseparametern der nachfolgenden Hierarchieebene auf. Indem nun die gemessenen Änderungsrichtungen der Diagnoseparameter mit den zugewiesenen Änderungsrichtungen verglichen werden, können schnell und einfach die verantwortlichen Diagnoseparameter und damit der Fehlerweg gewonnen werden.

Ein großer Vorteil ist hier die rekursive Analyse, d.h. es müssen immer nur die Meßwerte von zwei aufeinander folgenden Hierarchieebenen betrachtet werden, um zur nächsten Hierarchieebene zu kommen, unabhängig davon, in welcher Tiefe des Abhängigkeitsbaumes man sich befindet. Zudem können unterschiedliche Experten unabhängig voneinander an der Erstellung des Abhängigkeitsbaumes und der Aufstellung der zugewiesenen Änderungsrichtungen arbeiten. Die Bewertung der Zuverlässigkeit von Diagnoseaussagen ist zudem in einfacher und nachvollziehbarer Weise möglich. Geht man davon aus, daß der Abhängigkeitsbaum und die zugewiesenen Änderungsrichtungen für bestimmte Betriebszustände (z.B. Lastbetrieb einer Turbine) wohl definiert sind, ist die Widerspruchshäufigkeit, d.h. die Anzahl der Prozeßvariablen, welche sich nach Eintritt des unerwünschten Zustandes nicht in die vorgegebene Richtung ändern, ein Maß für die Glaubwürdigkeit der Diagnose. In einem Wichtungsalgorithmus für die Unschärfe können die Anzahl der mit den zugewiesenen Änderungsrichtungen konformen Prozeßva-

riablen, Wichtungsfaktoren sowie die zeitliche Dauer des Störungsprozesses einbezogen werden.

Bevorzugt ist die technische Anlage einer Turbinenanlage.

5 Weiter bevorzugt ist die technische Anlage eine Gasturbinenanlage, eine Dampfturbinenanlage oder eine kombinierte Gas- und Dampfturbinenanlage. Gerade bei einer solchen Turbinenanlage ist das Diagnoseverfahren vorteilhaft einsetzbar, da
10 durch sequentielle, durch die Führung des jeweiligen turbinentreibenden Mediums bestimmte Prozesse eine einfache Aufstellung des Abhängigkeitsbaumes ermöglicht wird. Zudem ist es gerade bei Turbinenanlagen unbedingt notwendig, ein schnelles und zuverlässiges Diagnosesystem zur Früherkennung der Ursachen eines Störereignisses zur Verfügung zu haben.

15 Vorzugsweise erfolgt die Ursachenermittlung durch Nutzung eines Wide Area Network, insbesondere dem Internet. Dies ermöglicht eine Ferndiagnose der technischen Anlage. Z. B. kann eine Diagnose in einem Kraftwerk auch durch den u. U. weit
20 entfernt operierenden Kraftwerkshersteller erfolgen.

Erfindungsgemäß wird die auf ein Diagnosesystem gerichtete Aufgabe gelöst durch eine Angabe eines Diagnosesystems für eine technische Anlage, bei dem eine Ursache eines durch eine
25 Stör-Zustandsgröße beschriebenen Störereignisses durch folgende Schritte ermittelbar ist:

Ermittlung eines über Zustandsgrößen definierten Betriebszustandes der Anlage durch eine Bestimmung von jeweils eine
30 Zustandsgröße charakterisierender Diagnoseparameter;

Erstellung eines aus Hierarchieebenen, numeriert mit Hn, aufgebauten Abhängigkeitsbaumes, der zumindest einen Teil der Diagnoseparameter enthält, wobei
35

eine erste Hierarchieebene eine die Stör-Zustandsgröße charakterisierenden Diagnoseparameter enthält,

eine auf die erste Hierarchieebene folgende zweite Hierarchieebene Diagnoseparameter enthält, die Zustandsgrößen definieren, die unmittelbar auf die Stör-Zustandsgröße einwirken,

5

eine auf die Hierarchieebene H_n folgende Hierarchieebene H_{n+1} Diagnoseparameter enthält, die Zustandsgrößen definieren, die unmittelbar auf die Zustandgrößen einwirken, die durch die Diagnoseparameter der Hierarchieebene H_n charakterisiert werden;

10

Ermittlung eines Fehlerweges im Abhängigkeitsbaum ausgehend vom Stör-Diagnoseparameter dadurch, daß entsprechend der Größe oder einer Änderungsrichtung eines Diagnoseparameters einer Hierarchieebene H_n ein verantwortlicher Diagnoseparameter einer Hierarchieebene H_{n+1} identifiziert wird;
Bestimmung der Ursache aus einem so identifizierten verantwortlichen Diagnoseparameter einer letzten Hierarchieebene.

15

Die Vorteile eines solchen Diagnosesystems ergeben sich entsprechend den obigen Ausführungen zu den Vorteilen des Diagnoseverfahrens.

20

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen teilweise schematisch und nicht maßstäblich:

25

FIG 1 eine kombinierte Gas- und Dampfturbinenanlage,

FIG 2 einen Austrittsbereich einer Gasturbine,

30

FIG 3 einen Querschnitt durch einen Austrittsdiffusor einer Gasturbine mit Temperatursensoren,

FIG 4 eine Temperaturverteilung in einem Abgasstrom einer Gasturbine,

FIG 5 ein zeitlicher Verlauf einer Differenz zwischen einer Abgastemperatur und einem Sollwert für Abgas einer Gasturbine,

35

FIG 6 einen Abhängigkeitsbaum A,

FIG 7 zugewiesene Veränderungsrichtungen für Diagnoseparameter im Abhängigkeitsbaum und
FIG 8 die Ermittlung eines Fehlerweges im Abhängigkeitsbaum.

- 5 Gleiche Bezugszeichen haben in den verschiedenen Figuren die gleiche Bedeutung.

FIG 1 zeigt eine als kombinierte Gas- und Dampfturbinenanlage ausgeführte technische Anlage 1. Eine Gasturbinenanlage 1A
10 ist aus einem Verdichter 3, zwei Silobrennkammern 5 und einem Turbinenteil 7 aufgebaut. Über ein Ansaughaus 9 saugt der Verdichter 3 Umgebungsluft an und verdichtet diese. Die verdichtete Luft wird den Brennkammern 5 zugeführt und dort mit Brennstoff verbrannt. das so erzeugte heiße Abgas treibt den
15 Turbinenteil 7 und damit eine Turbinenwelle 8 an, die über ein Getriebe 13 an einen nicht dargestellten Generator zur Stromerzeugung gekoppelt ist. Das über einen Austrittsdiffusor 11 austretende heiße Abgas wird einem Abhitzekessel 30 zur Dampferzeugung zugeleitet. Der erzeugte Dampf wird einer
20 Dampfturbinenanlage 1B 32 zugeleitet.

Zur Überwachung des Betriebszustandes der Turbinenanlage 1 sind an zahlreichen Stellen Meßinstrumente zur Messung von Zustandsgrößen angeordnet. Bei der Gasturbinenanlage 1A sind
25 dies z. B.:

- M1 Messung des Außendruckes, einer Druckdifferenz zu einem Filter, der Umgebungstemperatur und der Luftfeuchtigkeit im Ansaughaus,
- 30 M2 Messung der Temperatur, des Druckes und der Stellung der ersten Leitschaufelreihe am Verdichtereintritt,
- M3 Messung von Schwingungen, Temperatur, Ölqualität, Füllzustand und Druck im Getriebe,
- M4 Messung von Schwingungen, Temperatur und Druck in einem
35 Lager,
- M5 Messung von Temperatur, Druck, Füllzustand und Ölqualität im Schmierölsystem,

9

M6 Messung der Temperatur und des Druckes am Verdichteraus-
tritt,

M7 Messung von Druck und Temperatur und Brennstoffdurchsatz
im Brenner bzw. in der Brennkammer,

5 M8 Messung der Temperatur am Turbinenaustritt

M9 Schadstoffmessung, z. B. NO_x, O₂, CO im Abgaskanal.

Die so bestimmten Zustandsgrößen M werden einer Übermitt-
lungseinrichtung 36 zugeleitet. Über ein Wide Area Network,
10 wie dem Internet oder über eine Telefonleitung, werden die
Zustandsgrößen M charakterisierende Diagnoseparameter D einem
Diagnosesystem 38 zugeleitet.

FIG 2 zeigt einen Austrittsbereich mit Austrittsdiffusor 11
15 der Gasturbinenanlage 1A aus FIG 1.

In FIG 3 ist dazu ein Querschnitt durch diesen Austrittsdif-
fusor 11 dargestellt, wobei Temperatursensoren 15 am Aus-
trittsdiffusor 11 zur Messung einer Abgastemperaturverteilung
20 angeordnet sind.

In FIG 4 ist ein über die Temperatursensoren 15 gewonnene
Temperaturverteilung 19, des heißen Abgases dargestellt. Eine
Sollverteilung 17 für die Temperaturverteilung ist ebenfalls
25 dargestellt. Ein größter Abweichungswert zwischen der Soll-
verteilung 17 und der Temperaturverteilung 19, eingezeichnet
als δt , ergibt bei Überschreiten eines Grenzwertes einen
Stör-Diagnoseparameter DS.

30 FIG 5 zeigt einens zeitlichen Verlauf der Temperaturdifferenz
 δt und die ermittelte Zeit TS, bei der aus einer Extrapola-
tion ein Überschreiten des Grenzwertes S erfolgt. Durch diese
Extrapolation kann bereits frühzeitig ein Störereignis cha-
rakterisiert durch den Stör-Diagnoseparameter DS ausgemacht
35 werden.

10

- In FIG 6 ist ein Abhängigkeitsbaum A dargestellt. Eine erste Hierarchieebene H1 enthält einen Stör-Diagnoseparameter DS. Dieser Stör-Diagnoseparameter DS kann eine Änderungsrichtung V annehmen, die entweder steigend (dargestellt mit +), fallend (dargestellt mit -) oder konstant (dargestellt mit 0) ist. Auf die erste Hierarchieebene H1 folgt eine zweite Hierarchieebene H2 die Diagnoseparameter D1, D2, D3 enthält. Die Diagnoseparameter D1, D2, D3 charakterisieren Zustandsgrößen, die unmittelbar auf die vom Stör-Diagnoseparameter DS charakterisierte Zustandsgröße einwirken. Jeder der Diagnoseparameter D1, D2, D3 der zweiten Hierarchieebene H2 kann eine steigende, fallende oder gleichbleibende Änderungsrichtung aufweisen. Diese sind wiederum mit +, - und 0 dargestellt.
- 15 Auf die zweite Hierarchieebene H2 folgt eine dritte Hierarchieebene H3. Für den Diagnoseparameter D2 der zweiten Hierarchieebene H2 ist diese dritte Hierarchieebene H3 gebildet durch die Diagnoseparameter D21, D22 und D23. Die Diagnoseparameter D21, D22 und D23 charakterisieren Zustandsgrößen, die unmittelbar auf die vom Diagnoseparameter D2 charakterisierte Zustandsgröße einwirken. Auch die Diagnoseparameter D21, D22 und D23 weisen jeweils eine Änderungsrichtung V auf, die steigend, fallend oder gleichbleibend sein kann. Die Diagnoseparameter D1 und D3 der zweiten Hierarchieebene H2 können jeweils eine eigene nachfolgend geschaltete dritte Hierarchieebene H3 aufweisen, wobei diese jeweiligen dritten Hierarchieebenen H3 Diagnoseparametern zu Zustandsgrößen aufweisen, die wiederum unmittelbar auf die jeweils von den Diagnoseparametern D1 und D3 charakterisierten Zustandsgrößen einwirken.

Nach der Aufstellung des Abhängigkeitsbaumes A, der die technologischen Abhängigkeiten der gemessenen Zustandsgrößen beschreibt, werden abhängig von den Änderungsrichtungen V Verknüpfungen zwischen den Diagnoseparametern D eingeführt. Dies wird näher anhand von FIG 7 erläutert.

FIG 7 zeigt den Abhängigkeitsbaum A der FIG 6, wobei als ein Beispiel eine steigende Änderungsrichtung für den Stör-Diagnoseparameter DS vorgegeben ist, dargestellt durch eine Umkreisung des Pluszeichens. Eine steigende Änderungsrichtung für den Stör-Diagnoseparameter DS ist durch definierte, zugewiesene Änderungsrichtungen VZ der Diagnoseparameter D1, D2 und D3 der zweiten Hierarchieebene H2 bewirkbar. Mithilfe vorhandenen Wissens über die Zustandsgrößenabhängigkeiten ist im gezeigten Beispiel dem Diagnoseparameter D1 eine positive Änderungsgeschwindigkeit VZ zuzuweisen. Der Diagnoseparameter D2 weist demgegenüber eine negative zugewiesene Änderungsrichtung VZ auf. Die zugewiesene Änderungsrichtung VZ für den Diagnoseparameter D3 ist wiederum positiv. Mit anderen Worten: die Diagnoseparameter D1 und D3 müßten steigen um auch ein Ansteigen des Stör-Diagnoseparameters DS zu bewirken. Demgegenüber müßte der Diagnoseparameter D2 für ein Ansteigen des Stör-Diagnoseparameters DS sinken. Die Diagnoseparameter D21, D22 und D23 werden nun mit dem Diagnoseparameter 2 bezüglich der zugewiesenen Änderungsrichtungen VZ in gleicher Weise verknüpft, wie der Stör-Diagnoseparameter DS mit den Diagniseparametern D1, D2 und D3. Für einen sinkenden Diagnoseparameter D2 ist somit ein sinkender Diagnoseparameter D21, ein steigender Diagnoseparameter D22 und ein sinkender Diagnoseparameter D23 zuzuweisen. Der Abhängigkeitsbaum A ist nunmehr durch ein Expertenwissen um Verknüpfungen angereichert, die die Abhängigkeiten der Änderungsrichtungen der Diagnoseparameter die aufeinanderfolgenden Hierarchieebenen H widerspiegelt.

In FIG 8 ist dargestellt, wie aus dem Abhängigkeitsbaum der FIG 7 ein Fehlerweg F ermittelt wird, der letztlich auf die Ursache des durch den Stör-Diagnoseparameter DS charakterisierten Störereignisses führt. Das Störereignis ist beispielsweise durch einen steigenden Stör-Diagnoseparameter gekennzeichnet. Ein steigender Stör-Diagnoseparameter kann durch ein Anstieg des Diagnoseparameter D1, ein Anstieg des Diagnoseparameters D3 oder ein Sinken des Diagnoseparameters

D2 verursacht sein. Es werden nunmehr gemessene Änderungsrichtungen VM der jeweiligen Diagnoseparameter D1, D2, D3 mit den vorher einem steigenden Stör-Diagnoseparameter DS zugewiesenen Änderungsrichtungen VZ der jeweiligen Diagnoseparameter D1, D2, D3 verglichen. Bei einer Übereinstimmung der zugewiesenen Änderungsrichtung VZ mit der gemessenen Änderungsrichtung VM führt zu einer Identifizierung des Diagnoseparameters als ein für den Anstieg des Stör-Diagnoseparameters verantwortlicher Diagnoseparameter. In diesem Fall ist D2 ein verantwortlicher Diagnoseparameter DV. Entsprechend wird der Diagnoseparameter D23 in der Hierarchieebene H3 als ein verantwortlicher Diagnoseparameter DV identifiziert. Die Verbindung der verantwortlichen Diagnoseparameter, angefangen vom Stör-Diagnoseparameter DS ergibt den Fehlerweg F im Abhängigkeitsbaum A. Der Fehlerweg F führt schließlich zu einer letzten, hier nicht näher dargestellten Hierarchieebene H, bei der aus dem dort identifizierten verantwortlichen Diagnoseparameter DV auf die Ursache des Störereignisses geschlossen werden kann.

20

Ein mögliches Störereignis bei einer Gasturbinenanlage könnte z. B. der Anstieg der Turbinenaustrittstemperatur sein. Der Stör-Diagnoseparameter DS ist also die Turbinenaustrittstemperatur mit einer steigenden Änderungsrichtung VM. In der ersten Hierarchieebene sind als unmittelbar auf die Turbinenaustrittstemperatur einwirkende Zustandsgrößen deren beschreibende Diagnoseparameter Verdichteraustrittstemperatur D1, Verdichtermassenstrom D2 und Brennstoffmassenstrom D3 enthalten. Für einen Anstieg der Turbinenaustrittstemperatur, wie im Störereignis beobachtet, müßte die Verdichteraustrittstemperatur steigen. Der Diagnoseparameter D1 hat also eine für dieses Störereignis steigende zugewiesene Änderungsrichtung VZ. Der Verdichtermassenstrom, d. h. der Diagnoseparameter D2 hat eine sinkende zugewiesene Veränderungsrichtung VZ. Der Brennstoffmassenstrom weist für das Störereignis keine zugewiesene Veränderungsrichtung VZ auf, da der Brennstoffmassenstrom gegenüber dem stationären Betriebszustand

- nicht gesteigert werden kann. Wird nun beobachtet, daß die Verdichteraustrittstemperatur konstant ist, während der Verdichtermassenstrom sinkt, so ist der Verdichtermassenstrom, d. h. der Diagnoseparameter D2 als ein verantwortlicher Diagnoseparameter DV für das Störereignis identifiziert. In der dritten Hierarchieebene sind als auf den Diagnoseparameter D2 einwirkende Diagnoseparameter die Drehzahl der Turbine D21, die Verdichtereintrittstemperatur D22 und der Verdichtereintrittsdruck D23 enthalten. Beobachtet man eine konstante Drehzahl und eine konstante Verdichtereintrittstemperatur während der Verdichtereintrittsdruck sinkt, so ist durch den Vergleich diese Beobachtung mit den jeweils zugewiesenen Veränderungsrichtungen VZ der Diagnoseparameter D23, also der Verdichtereintrittsdruck als verantwortlicher Diagnoseparameter DV identifiziert. Gegebenenfalls sind weitere Hierarchieebenen entsprechend zu durchlaufen, um letztlich die Ursache der Erhöhung der Turbinenaustrittstemperatur zu ermitteln.
- 20 Durch das vorstehend beschriebene Diagnoseverfahren bzw. das Diagnosesystem ist ein flexibles, zuverlässiges und einfaches Werkzeug zur Ermittlung der Ursache eines Störereignisses in einer technischen Anlage verwirklicht.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

CLASS PAGE BLANK

THIS PAGE BLANK (USPTO)

EPO-Munich
52

14

28. Juli 1999

Patentansprüche

1. Diagnoseverfahren für eine technische Anlage (1) zur Ermittlung der Ursache eines durch eine Stör-Zustandsgröße (MS) beschriebenen Störereignisses, bei dem
- 5 • ein über Zustandsgrößen (M) definierter Betriebszustand der Anlage durch eine Bestimmung von jeweils eine Zustandsgröße (M) charakterisierender Diagnoseparametern (D) ermittelt wird;
 - 10 • ein aus Hierarchieebenen (H), numeriert mit H_n , aufgebauter Abhängigkeitsbaum (A) erstellt wird, der zumindest einen Teil der Diagnoseparameter (D) enthält, wobei
 - eine erste Hierarchieebene (H_1) einen die Stör-Zustandsgröße (MS) charakterisierenden Stör-Diagnoseparameter (DS) enthält,
 - 15 • eine auf die erste Hierarchieebene (H_1) folgende zweite Hierarchieebene (H_2) Diagnoseparameter (D_1, D_2, D_3) enthält, die Zustandsgrößen (M) definieren, die unmittelbar auf die Stör-Zustandsgröße (MS) einwirken,
 - 20 • eine auf die Hierarchieebene H_n folgende Hierarchieebene H_{n+1} Diagnoseparameter (D_{21}, D_{22}, D_{23}) enthält, die Zustandsgrößen (M) definieren, die unmittelbar auf die Zustandsgrößen (M) einwirken, die durch die Diagnoseparameter (D_1, D_2, D_3) der Hierarchieebene H_n charakterisiert werden;
 - 25 • ausgehend vom Stör-Diagnoseparameter (DS) ein Fehlerweg (F) im Abhängigkeitsbaum (A) dadurch ermittelt wird, daß entsprechend der Größe oder einer Veränderungsrichtung (V) eines Diagnoseparameters (D) einer Hierarchieebene H_n ein verantwortlicher Diagnoseparameter (DV) einer Hierarchieebene H_{n+1} identifiziert wird;
 - 30 • aus einem so identifizierten verantwortlichen Diagnoseparameter (DV) einer letzten Hierarchieebene (H) auf die Ursache des Störereignisses geschlossen wird.

15

2. Diagnoseverfahren nach Anspruch 1,
bei dem jedem Diagnoseparameter (D) einer Hierarchieebene
Hn+1 für jeden Diagnoseparameter (D) einer Hierarchieebene Hn
eine steigende, fallende oder konstant bleibende Änderungs-
5 richtung (VZ) abhängig von einer vorgegebenen Änderungsrich-
tung (V) des jeweiligen Diagnoseparameters (D) der Hierar-
chieebene Hn zugewiesen wird, wobei der Fehlerweg (F) anhand
einer Übereinstimmung gemessener Änderungsrichtungen (VM) der
Diagnoseparameter (D) mit den zugewiesenen Änderungsrichtun-
10 gen (V) ermittelt wird.

3. Diagnoseverfahren nach Anspruch 1 oder 2,
bei dem die technische Anlage (1) eine Turbinenanlage ist.

15 4. Diagnoseverfahren nach Anspruch 3,
bei dem die Turbinenanlage (1) eine Gasturbinenanlage (1A)
ist.

5. Diagnoseverfahren nach Anspruch 3,
20 bei dem die Turbinenanlage (1) eine Dampfturbinenanlage (1B)
ist.

6. Diagnoseverfahren nach Anspruch 3,
bei dem die Turbinenanlage (1) eine kombinierte Gas- und
25 Dampfturbinenanlage ist.

7. Diagnoseverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die Ursachenermittlung durch Nutzung eines Wide-Area-
Network (40), insbesondere dem Internet, erfolgt.

30

7. Diagnosesystem (38) für eine technische Anlage (1) bei dem
eine Ursache eines durch eine Stör-Zustandsgröße (MS) be-
schriebenen Störereignisses durch folgende Schritte ermit-
telbar ist:

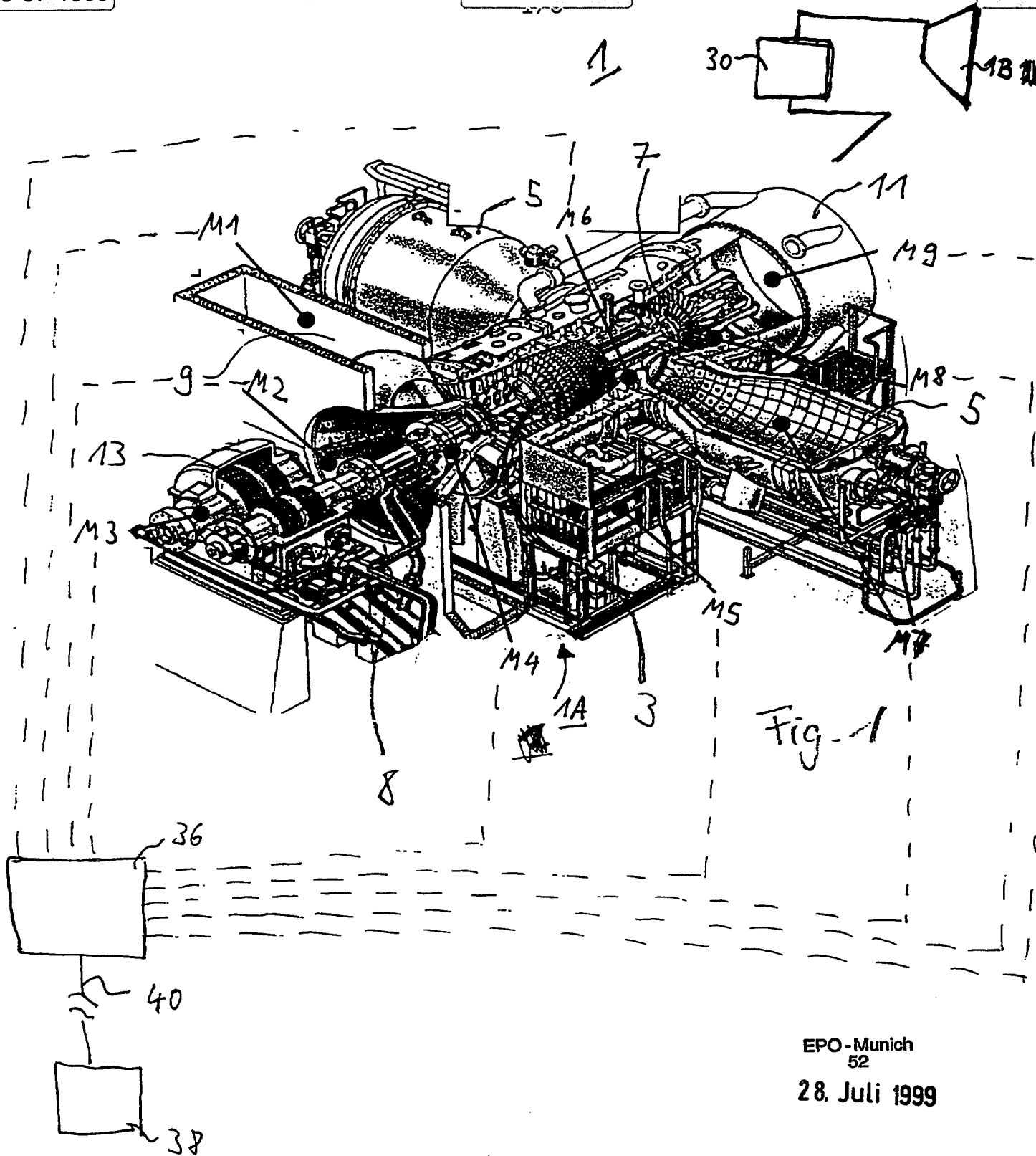
35 • Ermittlung eines über Zustandsgrößen (11) definierten Be-
triebszustandes der Anlage (1) durch eine Bestimmung von

16

jeweils eine Zustandsgröße (M) charakterisierender Diagnoseparametern (D);

- Erstellung eines aus Hierarchieebenen (H), numeriert mit H_n , aufgebauten Abhängigkeitsbaumes (A), der zumindest einen Teil der Diagnoseparameter (D) enthält, wobei
- eine erste Hierarchieebene (H_1) einen die Stör-Zustandsgröße (MS) charakterisierenden Stör-Diagnoseparameter (DS) enthält,
- eine auf die erste Hierarchieebene folgende zweite Hierarchieebene (H_2) Diagnoseparameter (D_1, D_2, D_3) enthält, die Zustandsgrößen (M) definieren, die unmittelbar auf die Stör-Zustandsgröße (MS) einwirken,
- eine auf die Hierarchieebene H_n folgende Hierarchieebene H_{n+1} Diagnoseparameter (D_{21}, D_{22}, D_{23}) enthält, die Zustandsgrößen (M) definieren, die unmittelbar auf die Zustandsgrößen (M) einwirken, die durch die Diagnoseparameter (D_1, D_2, D_3) der Hierarchieebene H_n charakterisiert werden;
- Ermittlung eines Fehlerweges im Abhängigkeitsbaum (A) ausgehend vom Stör-Diagnoseparameter (DS) dadurch, daß entsprechend der Größe oder einer Veränderungsrichtung (V) eines Diagnoseparameters (D) einer Hierarchieebene H_n ein verantwortlicher Diagnoseparameter (DV) einer Hierarchieebene H_{n+1} identifiziert wird;
- Bestimmung der Ursache aus einem so identifizierten verantwortlichen Diagnoseparameter (DV) einer letzten Hierarchieebene (H).

THIS PAGE BLANK (USPTO)



BEST AVAILABLE COPY

EPO-Munich
52

28. Juli 1999

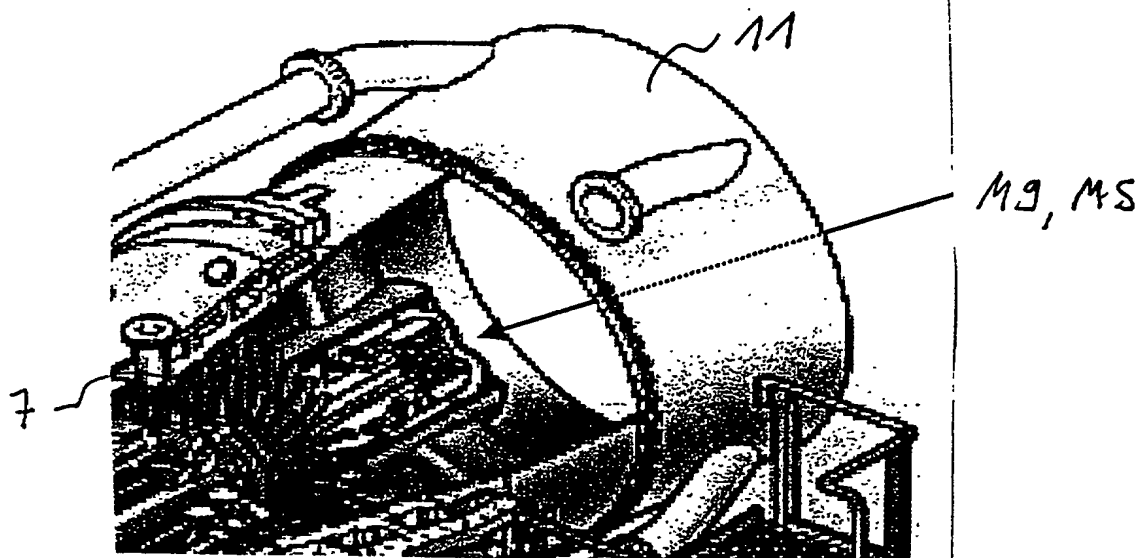


Fig. 2

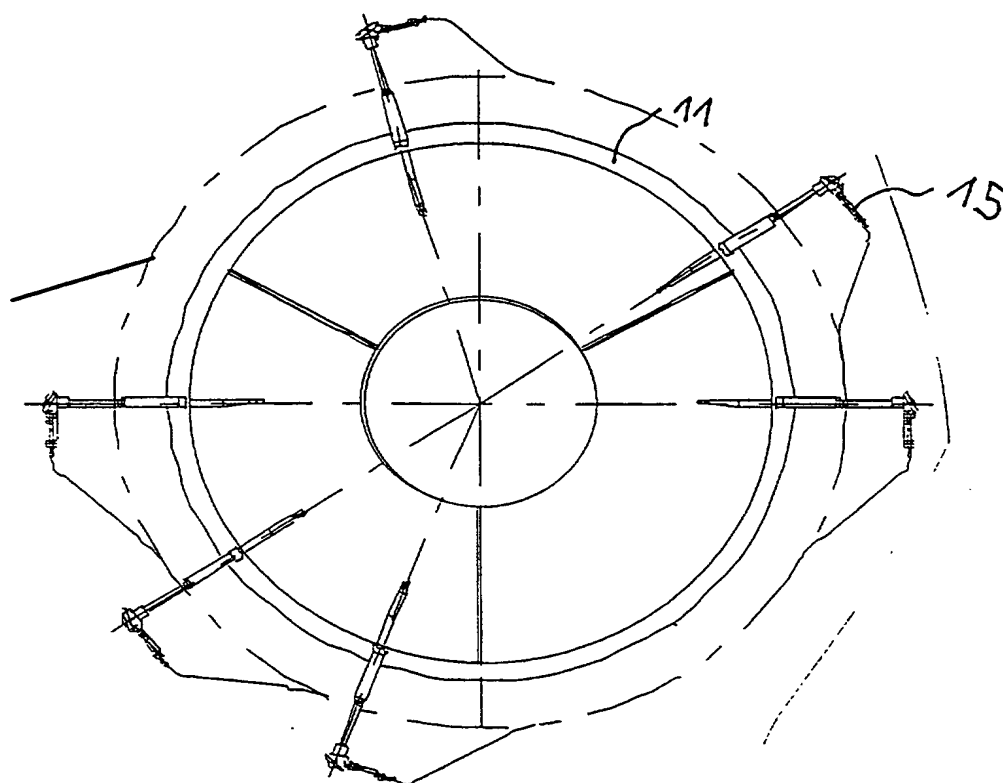
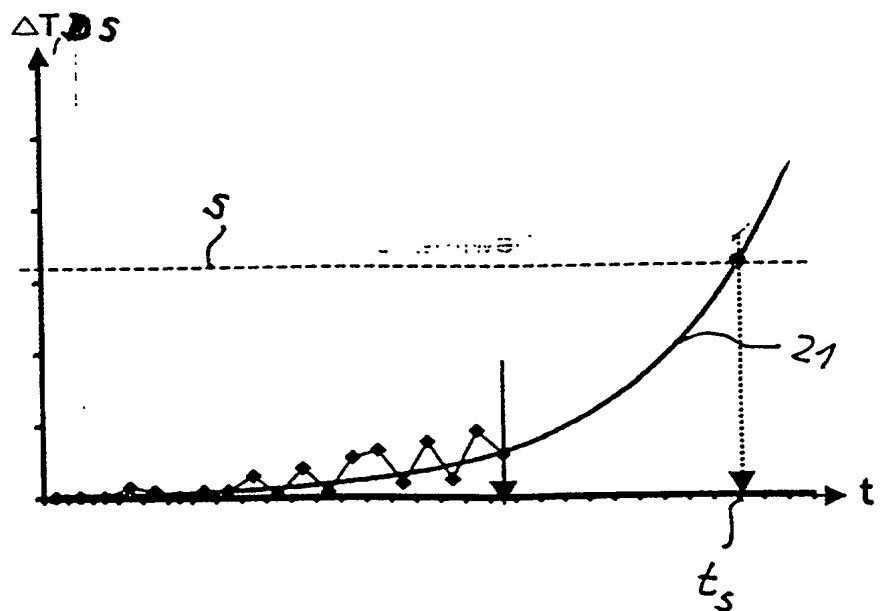
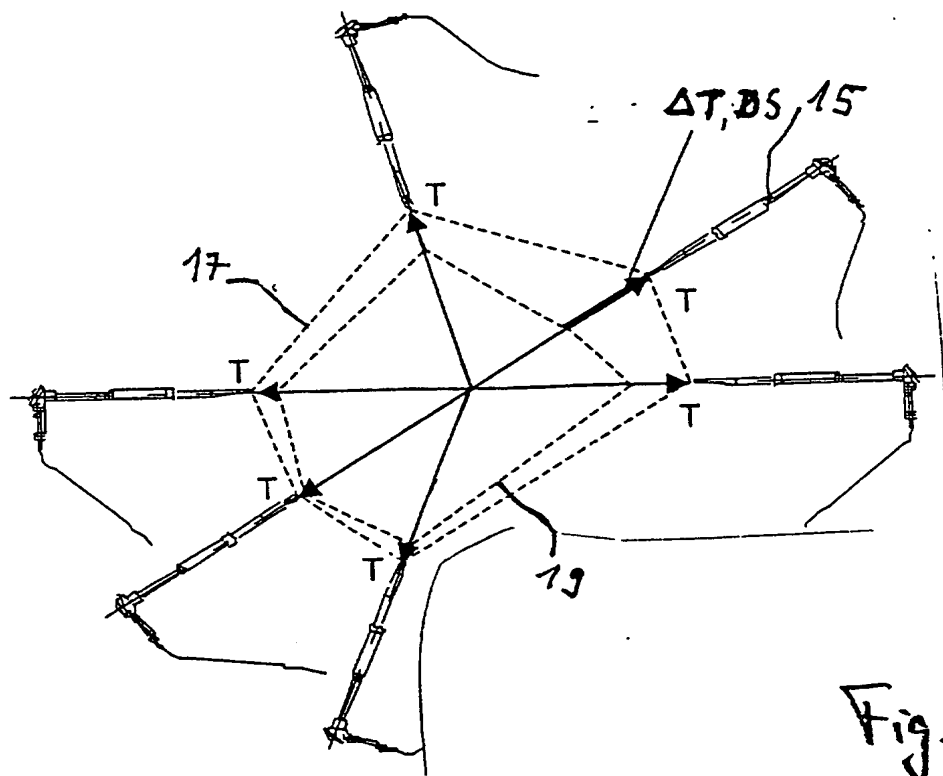


Fig. 3

BEST AVAILABLE COPY



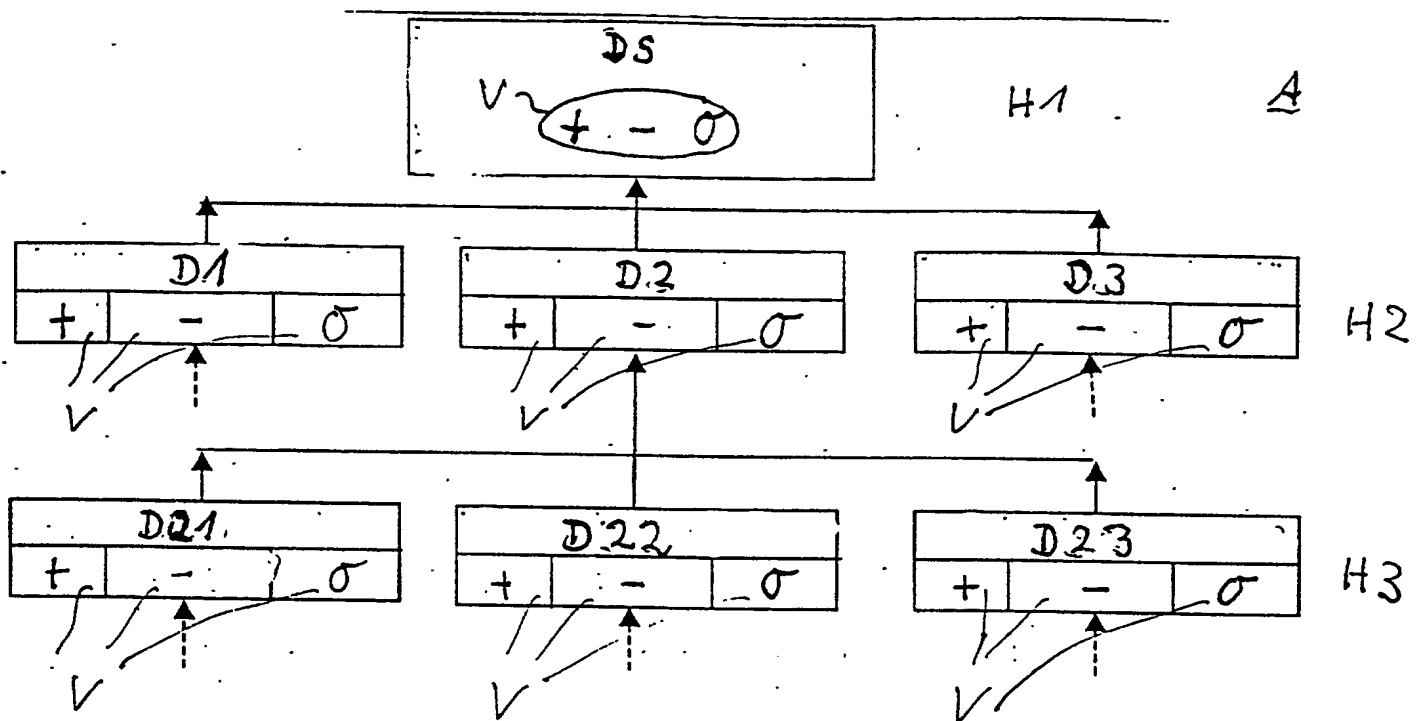


Fig. 6

BEST AVAILABLE COPY

BEST AVAILABLE COPY

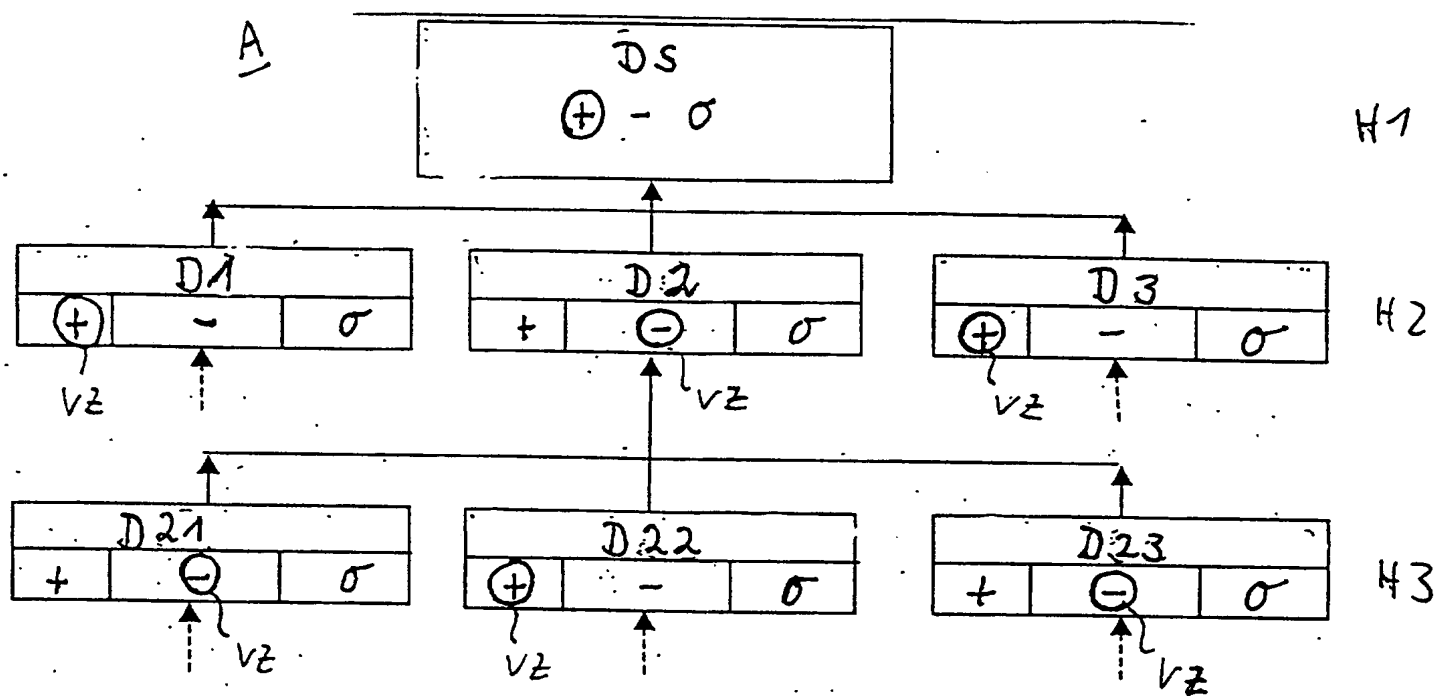


Fig. 7

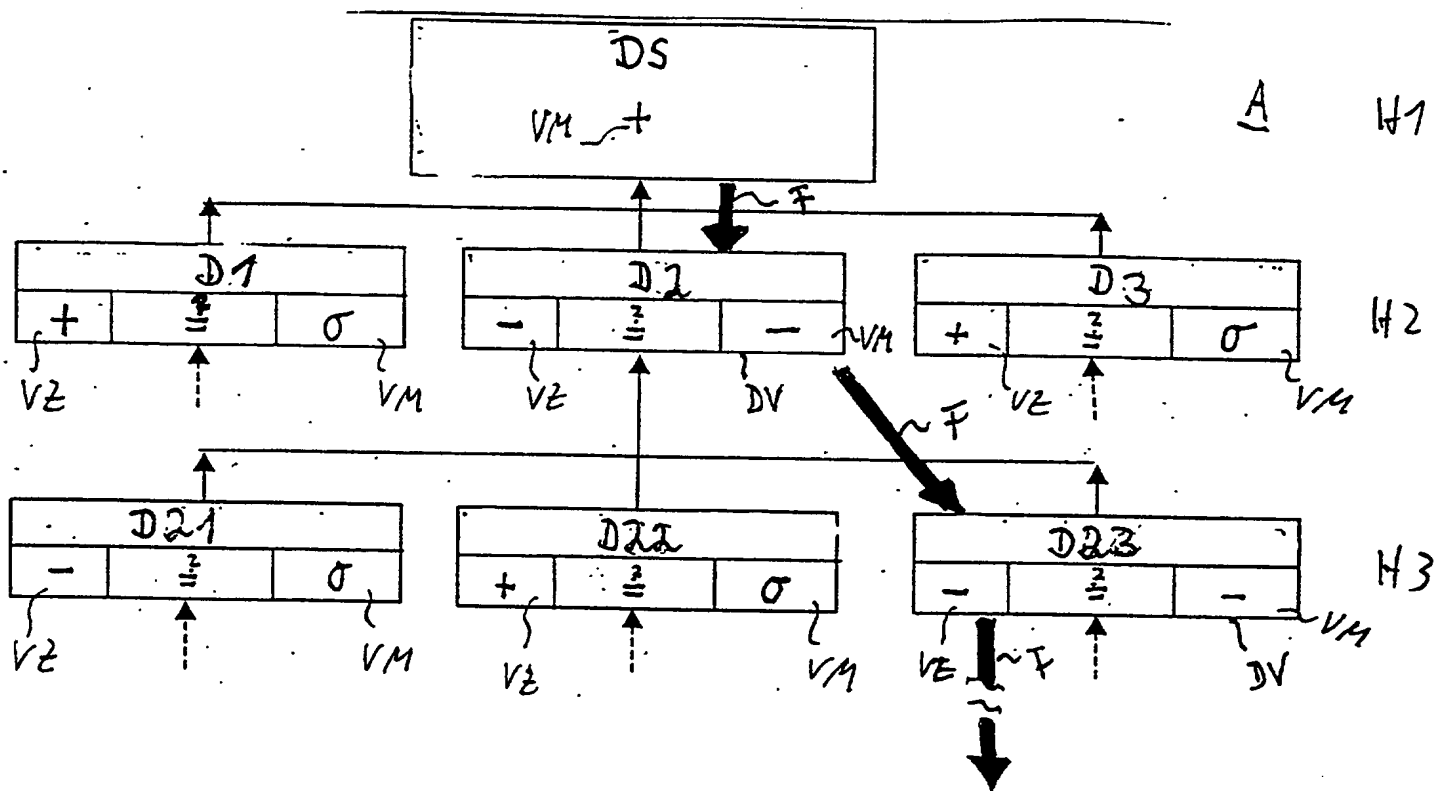


Fig. 8

EPO-Munich
52

17

28. Juli 1999

Zusammenfassung

Diagnoseverfahren und Diagnosesystem für eine technische Anlage

5

Die Erfindung betrifft ein Diagnoseverfahren für eine technische Anlage (1) zur Ermittlung der Ursache eines Störereignisses. Durch eine Anordnung von einem Betriebszustand der technischen Anlage (1) charakterisierende Zustandsgrößen (M) in einem Abhängigkeitsbaum (A) und Ermittlung eines Fehlerweges (F) im Abhängigkeitsbaum (A) durch Verknüpfung von Veränderungsrichtungen (V) von im Abhängigkeitsbaum (A) enthaltenen Diagnoseparametern (D) wird eine zuverlässige, flexible und einfache Möglichkeit zur Anlagendiagnose bereitgestellt.

15

FIG 8

THIS PAGE BLANK (USPTO)